

유전자 조작기법

노 현 모

(서울대 자연대교수)

I. 서 론

유전자 공학으로 알려져 있는 유전자 조립 기술이란 한마디로 경제성있는 특정한 유전자를 생체외로 추출하여, 시험관내에서 유전자 운반체인 플라스미드에 재조합한 다음 다시 생물체내로 투입시켜 경제성있는 특정산물을 대량 생산하는 것을 말한다. 이러한 유전자 공업 기술의 궁극적인 목적은 식량생산에 있으나 이보다 먼저 이용될 분야는 유용약품의 생산, 공업용 효소 생산, 기존 산업 미생물의 생산성 증진, 거친 '바이오매스(biomass)'를 유용산물로 변환시킬 수 있는 균주의 개발, 에너지 및 환경 문제의 근본적 해결이라고 본다.

지금까지는 석유(원유)를 주로 사용해서 물질을 생산하는 화학 공업이 산업의 주종을 이루었으나, 유전공학의 발달로써 재생산이 가능한 '바이오매스'를 사용해서 거의 모든 물질을 생산할 수 있게 되었다.

유전자 공학적 방법에 의해서 유기물질을 생산하는 것이 화학공업에 의해서 생산하는 것보다 유리한 점은 첫째로, '바이오매스'와 같이 재생산이 가능한 원료를 사용하고, 둘째는, 온전한 방법을 사용하기 때문에 에너지가 적게 들고, 세째는, 생물 세포에서 모든 과정이 완성되기 때문에 합성 및 분리의 반복 과정이 필요없고, 네째는, 공해가 거의 없다는 것이다.

그러면 이렇듯 중요한 특징을 지닌 유전 공학은 어떠한 방법으로 행하여질 수 있는 것인지 설명해 보자.

유전자 공학 기술은 크게 두가지로 구분되어질 수 있는데, 원핵생물과 진핵생물에 있어서가 그것이다. 이들을 구분해서 차례로 살펴보기로 하자.

II. 원핵생물에 있어서의 유전자 조립기술

원핵생물(prokaryote)에 있어서 유전자 조립 기술은 진핵생물에 있어서의 그것보다 비교적 간편하다고 할 수 있다. 왜냐하면 원핵생물의 DNA에는 진핵생물의 DNA와 같이 Exon과 Intron으로 구별되지 않으므로, 의미있는 특정 유전자를 대장균이나 다른 미생물로부터 직접 절단 추출하여 유전자 운반체인 플라스미드에 끼워 넣으면 되기 때문이다.

일반적으로 유전자 조립 기술을 설명하기 이전에, 유전자 공학에 사용되는 효소들을 설명해 보면, 제한 효소, DNA 접합 효소(DNA polymerase), Terminal nucleotidyl transferase, Polynucleotide kinase, 역제 효소(Reverse Transcriptase), SI nuclease, Alkaline phosphatase, RNA 중합효소(RNA polymerase) 등이 있다. 그리고 DNA를 다루는 중요한 기술로는, CscI 밀도균배원심분리(CscI density gradient centrifugation), 전기영동, DNA-RNA 혹은 DAN-DNA hybridization, DNA transformation, 전령 RNA의 순수분리 외에 면역학적 방법 등을 들 수

있다.

본 논문에서는 이러한 용어들을 적절히 사용하여 유전자 조작 기술을 순서대로 설명하고자 한다.

1. DNA 운반체(Cloning vehicle)의 준비

박테리아 숙주에서는 플라스미드와 bacteriophage로부터 유래된 vector들이 사용되는데 일반적으로 이상적인 DNA 운반체로서의 조건은 첫째, 분자량이 작아야 하고 둘째, 형질 전환(transformation)된 숙주 세포가 쉽게 선별될 수 있는 표현형질적 특징을 가지고 있어야 하며 셋째, 제한효소의 작용 부위가 하나이어야 한다. 그런데 이 작용 부위는 특히, 쉽게 선별될 수 있는 표현형질을 나타내는 유전자위에 존재하는 것이 바람직하다. 또한 vector로 사용되는 플라스미드는 재조합 플라스미드의 합성때 외부로부터 온 DNA의 삽입으로 복제기능이 저해를 받아서는 안된다. 현재 이러한 조건에 일치하는 vector가 많이 개발되어 있는데, pSC101이 최초로 유전자 cloning에 사용되었다.

pSC101은 제한효소 EcoRI에 의해서 한 부위에서만 절단이 일어나고, 이 부위에 다른 DNA를 삽입하면 플라스미드의 복제기능에는 영향을 주지 않고 항 teracyclin(antitetracyclin)의 성질을 갖는 플라스미드 유전자의 발현에 지장을 주어, 이것으로부터 형질전환된 숙주(transformant)를 선별해 낼 수 있다. 그러나, 이러한 vector의 사용은 많은 불리한 점들이 있기 때문에 현재는 pBR322를 많이 사용하고 있다.

Vector pBR322는 vector pRSF2124와 pSC101에서 각각 유래한 것으로 암피실린(ampicillin)과 테트라사이클린(tetracyclin)에 각각 저항성이 있는 유전자를 지니고 있으며 제한효소 HindIII, BamHI, salI, PstI, 그리고 EcoRI에 대한 한 개의 절단 부위를 가지고

있다. 그리고 HindIII, BamHI, SalI 부위에 끼워들어간 유전자는 테트라사이클린에 저항성을 가지는 유전자를 불활성화 시키며, PstI은 암피실린에 저항성을 가지게 하는 유전자를 불활성화 시키므로 선별하기 쉬운 특징이 있어 위에 언급한 DNA 운반체로서의 여러 조건을 충분히 만족시킨다.

또한 pBR322는 분자량이 약 2.6Mdalton 정도로 크기가 작으므로 cloned된 DNA의 수율과 순도가 크며, 접합(ligation)과 형질전환(transformation)의 수율도 크기 때문에 cloning vehicle로서 적당하다.

또 vector pBR322는 복제시 단백질의 합성을 필요로 하지 않으므로 배양시 클로람페니콜(chloramphenicol)을 처리함으로써 숙주 박테리아의 유전자 복제를 억제하여 플라스미드의 수를 세포당 1,000~3,000개로 증가시킬 수 있는 잇점이 있다. 이러한 특징을 지닌 vector pBR322를 cloning vehicle로 사용하고자 할 때는 외부 DNA를 삽입시키고자 하는 적당한 부위를 선택하여 제한효소로 절단한 다음, 외부 DNA를 끼워 넣으면 되는 것이다.

Vector pBR322를 순수분리하는 데는 많은 방법이 있으며, 그 중 간략한 방법을 보면 다음과 같다.

우선 vector pBR322를 가진 숙주 박테리아를(예: *E. coli* C600) 적당한 시간동안 배양한 다음, 원심분리하여 수확한다. 이 때 배지에는 암피실린과 테트라사이클린이 들어가야 하며, 초기 배양 후 O. D. 645=1.6일 때 클로람페니콜을 처리하여 플라스미드를 증폭한다.

이렇게 하여 수확된 박테리아를 라이소자임(Lysozyme)을 처리하여 세포벽을 연 후 청정제(detergent)를 넣어 완전히 용해시킨 다음 원심분리하여 cleared lysate를 얻는다. 이 cleared lysate에 phenol을 처리하여 DNA를 추출한 다음(phenol extraction) 에탄올로 침전시킨다(ethanol precipitation).

그 후 원심분리하여 DNA를 얻은 다음, Cscl 밀도균배원심분리 (Cscl density gradient centrifugation) 하여 숙주 DNA와 완전히 분리된 vector pBR322를 얻는다.

이 초원분리때에는 DNA 띠를 염색할 수 있는 ethidium bromide를 넣어 장과장의 U. V. 아래에서 정확한 위치를 찾아낸다. 이렇게 분리된 vector PBR322는 그 사이에 ethidium bromide가 끼어있으므로 이를 제거해야만 유전자 활성을 되찾아 완전한 순수분리가 되는 것이다. 이 ethidium bromide를 제거하기 위해 Isopropanol이나 butanol로써 몇 번 추출하고, 계속 원심분리하여 ethidium bromide의 붉은 색깔이 없어질 때까지 계속한다. 이러한 과정이 다 끝나고 나면 agarose 전기영동법 (agarose gel electrophoresis)를 수행하여 순도를 확인하면 되는 것이다.

Cloning vehicle로 사용할 수 있는 것으로서 플라스미드 이외에 bacteriophage λ 와 그 유도체들이 있다. bacteriophage λ 는 R. L. Sinsheimer 등에 의해 cloning vehicle로 사용되었는데, 이것은 진핵생물의 DNA로부터 특정한 유전자를 분리하여 cloning하기에 가장 적합한 것으로 알려졌다.

λ 유도체는 플라스미드에 비해 3가지의 유리한 잇점이 있는데 첫째, nucleic acid hybridization에 의해서 하나의 petri dish위에 나타난 수 많은 재조합 DNA의 sequence를 쉽게 알 수 있고, 둘째, 시험관내에서 재조합 유전자를 packaging함으로써 매우 효과적으로 박테리아를 감염시킬 수 있으며, 셋째, 각각 독립적으로 packaged된 재결합 파아지를 쉽게 복제할 수 있는 것이다. Bacteriophage λ 유도체가 cloning vehicle로 사용된 것으로 λ gt WES와 Charon phage를 들 수 있으며 여기서 Charon phage의 경우를 예로 들어 설명해 보자.

대부분의 Charon 파아지는 β -galactosid-

ase 유전자 (lacZ)를 가지고 있는데, 이 부위에 외부 DNA를 삽입하면 이 파아지는 lac O⁻가 되므로 charomogenic noninducing β -galactosidase의 기질을 포함하고 있는 배지위에 자란 lac⁺박테리아에 감염시켜 붉은으로써 외부 DNA가 끼어 들어갔는지의 여부를 쉽게 판명할 수 있는 것이다. 이 Charon 파아지 중에서 가장 흔히 사용되는 것은 Charon 4 파아지이다.

이와 같이 bacteriophage λ 나 그의 유도체들이 cloning vehicle로 사용되는 것은 이들이 외부 DNA를 삽입할 수 있도록 하나의 제한효소 절단부위 (insertional vector)를 가지든가, 혹은 두개의 제한효소 절단 부위를 가져서 그 사이의 DNA절편을 제거하고 외부 DNA로 치환할 수 있는 것으로 (replacement vector) 개조되어 있기 때문이다.

Phage vector는 일반적으로 크기가 크기 때문에 재조합 DNA를 형성했을 때 외부 DNA와 vector DNA와의 비가 작다는 결점이 있으나 크기가 큰 외부 DNA를 운반할 수 있고 박테리아에의 도입율이 높고 phage plaque위에서 직접 선별할 수 있는 잇점이 있으므로 많이 사용되고 있다. 또 최근에는 플라스미드 DNA와 λ DNA의 packaging에 필요한 부위 (cos 부위)의 재조합으로 만들어진 cosmid vector가 많이 이용되고 있다. 이 cosmid vector는 외부 DNA와 결합하여 재조합되면 시험관내에서 선택적으로 박테리아를 감염시킬 수 있고, 숙주 세포에 도입되어서는 플라스미드와 같이 복제되고 발현되는 이점을 가지고 있으며, 또 크기가 큰 외부 DNA를 운반할 수 있는 장점이 있으므로 많은 진핵생물의 유전자를 동시에 cloning시키는데 유용하게 쓰일 수 있다.

그 외에 simian virus40 (SV40)의 유도체들이 진핵생물에 있어서의 cloning vehicle로 사용되고 있으나, 아직 해결되어야 할 많은 문제점들이 있다.

SV40을 cloning vehicle로 사용할 경우 플

라스미드나 파아지 vector 등에 비해 상대적으로 작은 외부 DNA의 삽입능력을 가지고 있는데, 삽입되는 외부 DNA의 크기는 4.3Kb정도가 적당하다.

2. 경제성 유전자의 준비

플라스미드에 삽입시켜 발현시키고자 하는 의미있는 특정 유전자는 보통 제한효소에 의하여 단하거나 mechanical shearing으로 특수한 길이로 절단한다.

이리하여 특정한 유전자가 얻어지면, 보통 agarose gel electrophoresis나 RPC 5 크로마토그래피를 써서 분수분리한다. 이 때 처음에 얻어진 DNA의 양에 비해 상당한 양의 감소가 있으므로, 이를 염두에 두고 절단하여야 한다. 그 외에 화학적으로 짧은 길이의 DNA를 합성하기도 하며, 진핵생물의 유전자 cloning시는 역제효소(reverse transcriptase)를 사용하기도 한다. 이들 외부 DNA는 특정한 절편들을 플라스미드에 끼워 넣는 경우와, 잘려진 절편들의 혼합물을 특별한 순수분리과정없이 cloning vehicle에 연결해 주는 경우가 있다.

후자의 경우를 shot-gun 방법이라고 한다.

3. 유전자와 유전자 운반체의 연결

절단된 유전자와 유전자 운반체인 cloning vehicle을 연결하는 방법은 보통 3가지가 흔히 사용된다.

첫째, cohesive end를 이용하는 방법 둘째, homopolymer tailing을 이용하는 방법, 셋째, blunt end를 연결하는 방법이다.

(1) Cohesive end 연결법

대부분의 제한효소들은 두 가닥 DNA를 잘라서, 한 가닥으로 된 접합부위(cohesive end)를 만들어 낸다. 이렇게 절단된 vector DNA

와 끼워 넣고자 하는 특정 DNA 절편이 다시 결합되어 재조합 DNA로 될 수 있는 것이다.

그러나 잘려진 DNA vehicle은 스스로 다시 접합되는 경우가 있으므로(약 70~90%), alkaline phosphatase로써 잘려진 DNA의 마지막 부위의 인산기를 제거함으로써 cloning vehicle자체만의 재결합을 다소 방지할 수 있다.

이렇게 처리된 cloning vehicle은 같은 제한효소로 처리하여 같은 cohesive end를 가지는 특정 유전자 절편과 재조합할 수 있게 된다.

이 때 DNA 접합효소(DNA ligase)를 사용하여 두 cohesive end가 완전히 결합할 수 있게 한다. 이 cohesive end는 blunt end로 절단된 DNA 절편에 8~14개의 염기쌍을 갖는 합성적 DNA연결체(synthetic DNA linkers)를 부착하여 제한효소로 절단하여 만들 수도 있다. 현재 EcoR I, BamH I, HindIII 등의 효소가 절단할 수 있는 부위를 갖는 연결체가 상업적으로 사판되고 있다. 같은 방법으로 끼워 넣고자 하는 blunt-ended DNA 절편에 linker를 붙혀 제한효소로 절단하여 cohesive end를 만든 후, 상보적인 연결체를 갖는 vehicle DNA와 접합시켜 재조합 DNA로 만들 수 있다. 이 때 blunt-ended DNA 절편에 linker를 연결하는 데는 T₄ ligase가 사용된다.

(2) Homopolymer tailing방법

Terminal deoxynucleotidyltransferase를 사용하여 유전자 운반체인 Vehicle DNA의 3'-OH 말단에 polydeoxyadenylate[poly(dA)]와 같은 homopolymer를 붙히고, 삽입시키고자 하는 DNA의 3'-말단에는 이에 상보적인 homopolymer를 붙혀[e.g.poly(dT)], 적절한 조건하에서 혼합시켜 반응시키면, 이 두 상보적인 말단은 dA:dT의 염기가 서로 결합함으로써 두 DNA 사슬은 연결할 수 있게 된다. 여기에 DNA 중합효소(DNA polymerase)

와 DNA 접합효소 (DNA ligase)를 처리하여 완전한 결합이 이루어 지도록 하는 방법이 homopolymer tailing 방법이다.

이 방법은 대단히 큰 절편을 연결할 수 있고, DNA 절편의 말단염기 배열에 관계없이 연결할 수 있으며, homopolymer의 길이를 크게 함으로써 DNA ligase의 처리를 하지 않고 숙주 세포로의 도입율을 크게 얻을 수 있는 잇점이 있다.

(3) Blunt-end 연결 방법

위에서 언급한 두 방법은 엄격히 말하면 cohesive end를 이용한 방법이다.

이와 같은 cohesive end를 만들지 않고 blunt end를 직접 붙일 수 있는 방법으로서 T₄ DNA 접합 효소를 사용하여 두가닥 DNA를 접합시키는 것이다. T₄ DNA 접합효소는 두가닥으로 된, 염기쌍이 연결된 DNA 말단을 연결시키는 효소인데, 제한효소 Hpa I, Hae III, Sma I 과 같이 cohesive end를 만들지 않고 DNA 절편들을 연결시키는데 사용된다. 또 cohesive end를 갖는 절편들도 DNA 중합효소 I 을 이용하여 blunt end로 만들거나, 혹은 SI nuclease를 이용하여 cohesive end를 제거한 다음 T₄ DNA ligase로써 접합시킬 수도 있다. 이 방법은 DNA 절편들에 불필요한 DNA 염기배열을 없앨 수 있으므로, 화학합성 등과 같은 방법에 의해 만들어진 DNA에 promoter나 제한효소 절단부위를 삽입시키고자 할 때 매우 유용하게 사용되는 방법이며, 특히 특정한 linker DNA를 붙일 때 흔히 사용된다.

또 이 방법은 무작위로 DNA 절편을 연결할 때에도 사용하며, 큰 절편들을 원형으로 만들 수도 있다.

4. 재조합된 유전자의 숙주세포에의 도입 및 선별

대부분의 재조합 유전자를 도입시킬 숙주로

는 *E. coli* K₁₂의 돌연변이주들이 사용되었는데, 이들은 도입된 재조합 유전자에 대한 제한효소의 기능이 상실되어 있다. 또한 *E. coli* X1776도 많이 사용되나 이는 다른 *E. coli*를 숙주로 사용하였을 때보다 낮은 형질전환의 수율을 보인다.

즉 보통 도입된 유전자의 마이크로그램당 10⁶의 앰피실린에 저항성이 있는 수율에 비해, X1776을 사용했을 때는 약 20,000의 낮은 수율을 보이는 것이다.

도입시킬 숙주를 선택하는 데는 몇 가지의 고려해야 할 점이 있는데, 첫째, 플라스미드의 부적합성 (plasmid incompatibility), 둘째, 파아지에 대한 면역성 (phage immunity), 셋째 숙주에 대한 저항성 (host restriction) 등이다.

*E. coli*를 숙주로 사용했을 때의 숙주 세포로의 도입 과정을 간단히 살펴보자.

우선 배양된 박테리아를 Mg⁺⁺를 함유한 완충용액으로 씻고 4°C에서 Ca⁺⁺ 용액에 현탁시킨 다음, 재조합된 DNA를 가한다. 이 때 반드시 저온 처리를 해야 한다.

그런 후, 박테리아를 잠시동안 37°C~42°C로 열을 가하고, 배양액으로 희석시킨 다음 선택배지를 이용하여 DNA가 도입된 형질변화된 균주 (transformant)를 선별한다.

선별은 도입된 재조합 유전자의 항생제에 대한 저항성을 이용하여 일차 선별한다. 즉 재조합 유전자가 도입된 형질 전환된 균주가 앰피실린이나 테트라사이클린이 함유된 배지에서 살아남을 수 있는 성질을 이용하는 것이다.

일차 선별이 끝난 다음에는 좀더 진보된 방법으로 이차 선별을 하는데, 보통 nucleic acid hybridization 방법, 면역학적인 방법, 효소액 방법이 쓰인다.

Nucleic acid hybridization 방법은 1975년 Grunstein과 Hogness에 의해서 개발된 방법으로 RNA에 표지된 probe를 이용하여 형질

전환된 colony에 hybridization을 일으켜 특정 재조합 DNA가 도입되었는지를 확인하는 방법이다. 이 방법으로 원하는 colony 중에서 원하는 재조합 유전자가 도입된 colony를 찾아낼 수 있었다. 우선 nitrocellulose filter를 표면에 처리한 agar plate의 배지에 선별하고자 하는 colony를 복제한 후, colony가 있는 필터를 집어내어 알칼리로 처리함으로써 colony를 용해시킨 다음 DNA도 denature시킨다. 이 필터를 protease K로 처리하여 단백질을 제거하고, denature된 DNA가 nitrocellulose filter에 꼭 붙도록 80°C의 열을 가한다. 이 DNA에 방사선 표지된 RNA로써 hybridization을 일으켜 원하는 colony를 선별하는 것으로, 이 방법을 사용할 때에는 반드시 참고되는 표준 colony가 있어야 한다.

그 외에 단백질의 항원 항체 반응을 이용한 면역학적 방법으로는 가장 효율이 좋은 방사면역법(Radioimmunoassay)이 쓰이며 이 방법은 짧은 시간에 많은 colony를 선별할 수 있는 장점이 있다. 또 효소학적 방법은 일단 특정한 재조합 유전자가 도입되었을 때 발현되는 효소의 활성도를 측정, 비교, 분석하는 방법이다.

Ⅲ. 진핵생물에 있어서의 유전자 조립기술

진핵생물(eukaryote)은 유전자인 DNA 자체가 원핵생물(Prokaryote)의 그것과 구조적으로 다르기 때문에 원핵생물에 있어서의 방법에서처럼, 의미있는 특정 유전자를 그대로 절단하여 cloning vehicle에 바로 연결시킬 수 없다. 왜냐 하면 진핵생물의 유전자는 exon과 intro로 구성되어 있으며, 따라서 분자 유전학적 연구에 의하면 이 DNA는 Pre-mRNA로 전사(transcription)되어 splicing이

라는 과정을 거쳐, 실제로 의미있는 어떤 산물을 만들어내는 것으로 알려져 있기 때문이다.

따라서 진핵생물의 유전자 조작 기술은 원핵생물의 그것보다 훨씬 복잡하고 정교한 기술을 요구한다. 아울러 진핵생물의 유전자 조립 기술에 있어서 필수적인 효소로서 역제효소(reverse transcriptase)를 들 수 있는데 이는 보통 쓰이는 DNA 중합효소와는 달리 RNA를 주형으로 하여 이에 상보적인 DNA를 합성하는 효소이다. 그러면 진핵생물에 있어서의 유전자 조작 기술을 간단히 설명해보자.

전술한 바와 같이 진핵생물의 DNA를 바로 cloning vehicle에 연결시킬 수 없으므로 원하는 유전자와 상보적인 RNA를 순수 분리하여 이를 주형으로 역제효소를 사용하여 cDNA(complementary DNA)를 만들거나 혹은 유전정보가 많지 않은 경우에 있어서는 화학적 합성으로 DNA를 만들어 cloning vehicle에 연결하는 방법을 사용한다.

여기서는 역제효소를 사용하여 cDNA를 만드는 과정을 설명해보기로 한다.

역제효소는 다른 효소와 마찬가지로 3'-OH가 노출되어 있는 primer를 반드시 필요로 하며, 대부분의 진핵생물의 mRNA는 약 200개의 Poly(A)의 homopolymer를 가지기 때문에 단순히 oligo(dT)를 붙혀 줌으로써 primer를 제공해 줄 수 있다.

이 primer와 4종류의 deoxy염기를 적절히 배합하여 반응시키면, 역제효소로써 완전한 한 가닥으로 된 cDNA를 만들 수 있다. 이때 만들어진 cDNA와 hybrid되어 있는 주형 RNA는 알칼리용액으로 제거시키고, 다시 역제효소로써 두 가닥으로 된 cDNA를 합성한다. 이어서 SI nuclease로써, 만들어진 cDNA의 양말단을 제거하고 deoxycytidylic acid(dC) 또는 deoxythymidylic acid(dT)를 terminal transferase를 사용하여 3'-말단기에 결합시킨다.

한편 유전자 운반체인 플라스미드 DNA도

적당한 제한효소로 절단한 다음 deoxyguanylic acid(dG) 또는 deoxyadenylic acid(dA)를 부착시킨다.

이와같이 만들어진 cDNA와 vector를 dC polymer와 dG polymer 또는 dA polymer와 dT polymer로 수소결합을 시켜 원형의 DNA 분자로 만든다.

이러한 방법외에도 유전자를 유전자 운반체에 연결시키는 방법으로는 앞에서 언급했듯이 제한효소의 절단에 의해 생긴 cohesive end를 바로 이용할 수도 있고 linker를 사용하거나, 조절기능이 있는 부위를 부착시키거나, blunt end를 만들어 이용할 수도 있다.

이와같이 만들어진 재조합 DNA는 원핵생물에 있어서와 같은 방법으로 적당한 숙주를 선택하여 도입시킨 후 선별한다. 이러한 과정을 거치는 역제효소의 이용은 Cohen과 그의 그룹이 쥐의 취장의 란겔한스 세포에서 인슐린생

산 mRNA를 순수분리하여, 인슐린의 유전자에 해당하는 cDNA를 합성하고, cDNA의 양말단에 전술한 바와 같은 접착말단기를 만들어 플라스미드 pMB 9에 결합시킨 시험을 예로 들 수 있다.

IV. 맺음말

지금까지 서술한 유전자 조립기술은 그 자체가 공업분야를 의미하는 것이 아니라 실험적으로 생산성이 높은 균주 또는 생체를 유전적으로 개량하는데 필요한 기술이며, 따라서 유전자 공업기술은 살아있는 세포의 유전기구를 변형시켜서 세포자체가 유용물질의 생산수율을 올리도록 하거나 또는 완전히 다른 기능을 가지도록 만들어 주는 기법이다.

이러한 변형세포를 증식시켜서 인류가 필요로 하는 물질이나 자원을 생산하는 것으로, 앞으로 많은 연구와 노력을 할 것으로 믿는다.

아빠엄마 지킨질서 아들딸이 보호된다